

EDUARDO BIANCHI NETO

APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE AERAÇÃO  
EM CHUVEIROS PARA BANHO DOMÉSTICO

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Smith Schneider

Porto Alegre  
2010



**Universidade Federal do Rio Grande do Sul**  
**Escola de Engenharia**  
**Departamento de Engenharia Mecânica**

**APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE AERAÇÃO  
EM CHUVEIROS PARA BANHO DOMÉSTICO**

**EDUARDO BIANCHI NETO**

ESTA MONOGRAFIA FOI JULGADA ADEQUADA COMO PARTE DOS RE-  
QUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE  
**ENGENHEIRO MECÂNICO**  
APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELA BANCA EXAMINADORA DO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

Prof. Walter Jesus Paucar Casas  
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

***BANCA EXAMINADORA:***

Prof. Dr. Horácio A. Vielmo  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Paulo Otto Beyer  
UFRGS / DEMEC

Prof. Dr. Sérgio Luiz Frey  
UFRGS / DEMEC

Porto Alegre  
2010

de modo especial, a meus pais, *Maria H. De Toni Bianchi* e *Ivo Bianchi*,  
minha irmã, *Fabiane Bianchi Locatelli*, e seu marido, *Dilso Locatelli*,  
e, ao meu irmão, *Cleiton Bianchi* e sua esposa *Mônica B. Bianchi*  
os quais dedicaram muito amor nessa caminhada.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, *Maria Helena De Toni Bianchi* e *Ivo Bianchi*, pelo amor e dedicação que permitiu que esse objetivo fosse alcançado,

Aos meus irmãos *Fabiane Bianchi Locatelli* e *Cleiton Bianchi* que, junto com seus cônjuges, sempre me incentivaram a seguir em frente,

A minha namorada *Fernanda Gava* por ser sinônimo de amor espontâneo,

Ao meu orientador, *Prof. Dr. Paulo Smith Schneider*, por seus ensinamentos nas disciplinas e sua orientação neste trabalho,

Ao Laboratório de Estudos Térmicos e Aerodinâmicos (LETA), ao *Msc. Diego R. Schmeda*, ao Técnico *João Batista da Rosa* e ao colega *Everton Clivatti Dall'Agnol*, pela colaboração no desenvolvimento deste trabalho,

A *Ilo Walter Hofmann* pelo companheirismo demonstrado neste trabalho,

Aos amigos e colegas, que contribuíram para minha formação desde as primeiras lições.

*"Seja em você a mudança que quer para o mundo."*

*Ghandi*

**BIANCHI, E. APLICAÇÃO DE SISTEMAS DE AERAÇÃO EM CHUVEIROS PARA BANHO DOMÉSTICO.** 2010. 26f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

## **RESUMO**

Este trabalho analisa a viabilidade técnica de sistemas de aeração em chuveiros para banhos domésticos. A proposta consiste em promover a aeração sem demanda extra de energia. O ar exterior é incorporado à corrente principal de água a partir de uma depressão estabelecida por um corpo introduzido no escoamento que se comporta como um Venturi. São realizados experimentos que determinam a perda de carga sobre o crivo e o sistema de sucção de ar. O escoamento na região de mistura e os efeitos da aeração para o chuveiro são analisados conceitualmente e posteriormente medidos com manômetros e com auxílio de imagens. Conclui-se que o princípio de operação é recomendável para aeração de chuveiros, e que se obteve alteração na velocidade e na textura no jato da ducha de banho.

**PALAVRAS-CHAVES:** Chuveiro aerado, Sistema de banho, Aeração, Venturi.

**BIANCHI, E. APPLICATION OF AERATION SYSTEMS IN DOMESTIC SHOWERS FOR BATHING.** 2010. 26f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

**ABSTRACT**

This study examines the technical feasibility of aeration systems in domestic showers for bathing. The goal is to promote aeration without extra demand of energy. The outside air is incorporated into the main stream of water from a depression due to the introduction of a body into the flow that promotes a Venturi effect. Experiments are developed to determine the pressure drop on the sieve and the system of air suction. The flow in the mixing region and the effects of aeration for the shower are conceptually analyzed and measured with manometers and with the help of images. It is concluded that the principle of operation is recommended for aeration of showers and that change in velocity and texture in the jet of the shower were obtained.

**KEYWORDS:** Aerated shower, bath system, Aeration, Venturi.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	1
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	2
3.1. PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA.....	3
3.2. PERDA DE CARGA LOCALIZADA.....	3
4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA.....	3
5. BANCADA EXPERIMENTAL.....	5
6. PROTÓTIPO.....	6
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	7
7.1. PERDA DE CARGA NO RESPIRADOR.....	7
7.2. AVALIAÇÃO DA AERAÇÃO POR IMAGEM.....	9
<b>7.2.1 Análise do escoamento na região de mistura.....</b>	<b>9</b>
<b>7.2.2 Análise da ducha de água.....</b>	<b>10</b>
8. CONCLUSÃO.....	11
REFERÊNCIAS.....	12
APÊNDICES.....	13
APÊNDICE A – BANCADA.....	13
APÊNDICE B – MODELOS DE RESPIRADORES.....	14
APÊNDICE C – PROTÓTIPO.....	15

## 1. INTRODUÇÃO

A questão ambiental vem tomando de forma importante o espaço em discussões públicas e é um assunto muito debatido no meio acadêmico. Os recursos naturais, principalmente a água, que em outrora se dizia infindável, vem dando sinais de escassez e provocando o questionamento do como reduzir a utilização desses recursos sem agredir de maneira contundente o estilo de vida adotado pela sociedade nos dias atuais.

Motivado por esse questionamento, objetiva-se neste trabalho desenvolver uma análise da viabilidade técnica de um chuveiro naturalmente aerado, que tem por finalidade proporcionar um banho confortável diminuindo o consumo de água através da introdução de ar na corrente de água.

Segundo SLATER, *apud* LINDEN e GUIMARÃES (2004), conforto é “um estado prazeroso de harmonia fisiológica, física e psicológica entre o ser humano e o ambiente”. A partir dessa idéia, identificou-se que o conforto em banho está ligado à sensação térmica e outra sensação, ligada à área de contato da água com o corpo humano, que será o objeto de estudo para o presente trabalho. O desenvolvimento de um chuveiro naturalmente aerado (CNA) é uma alternativa para aumentar a área de contato citada, sem com isso aumentar a massa de água admitida. Dessa forma, pode-se alcançar um maior conforto em geral do banho mantendo-se a mesma demanda energética dedicada ao aquecimento da corrente de água.

Segundo o site Inovação Tecnológica (2006), foi desenvolvido um dispositivo de aeração que quando conectado a um chuveiro convencional consome 30% menos água. Pondera-se, para isso, que ambos apresentem condições de conforto semelhantes, conforme sugerido por SLATER (1985).

Por outro lado, o aumento da área de contato permite a redução de consumo de água do banho, com conseqüente diminuição da demanda energética. Considerando que o pico de consumo de energia elétrica está intimamente atrelado ao horário de banho, é razoável supor que se pode conseguir algum impacto na demanda energética do setor elétrico deste horário, para o caso de alimentação elétrica dos chuveiros.

O objetivo do trabalho é analisar a aplicabilidade do conceito de aeração em sistemas de banho domésticos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Sistemas de aeração, ou arejadores, são muito utilizados em estações de tratamento de efluentes e processos industriais. Porém, em aplicações domésticas esta alternativa é menos difundida, ficando praticamente restrita à torneira.

A SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo sugere que torneiras equipadas com arejadores economizam até 57% de água em vazões de 14 litros/minuto ou 76% para vazões de 25 litros/minuto.

Conforme HAFNER (2007), os chuveiros e as bacias sanitárias são responsáveis por 59% do consumo de água em usos domésticos. Atualmente, adotam-se os reguladores de vazão como medida de mitigação do consumo de água em chuveiros. Porém, esta solução acomete o conforto do banho quanto à sensação de molhado.

Segundo o site CSIRO (2006), pesquisadores do Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation – CSIRO desenvolveram um equipamento que, quando conectado a um chuveiro comum, preenche as gotas de água com uma minúscula bolha de ar, resultando na mesma sensação de estar molhando a pessoa com a mesma intensidade - mas gastando menos água. Ainda, conforme a mesma fonte, o dispositivo de aeração é adaptável a chuveiros convencionais, funcionando a partir do efeito Venturi. Foram realizadas pesquisas com voluntários, as quais indicaram que pessoas não detectam diferenças na pressão da água, na sensação e na percepção geral do banho, apesar do chuveiro estar consumindo menos água.

BAYLAR e OZKAN (2005) avaliaram experimentalmente a eficiência de tubos de Venturi para a adição de ar em escoamentos de água, verifica-se que para vazões de  $2,4 \times 10^{-3}$  m<sup>3</sup>/s de água o tubo de Venturi aspira  $75 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup>/s de ar.

FERREIRA et al, (1996) analisaram injetores de Venturi, e identificaram que os mesmos apresentam limitações de eficiência para aeração, pois apresentam elevada perda de carga provocada pelo estrangulamento da tubulação, chegando a 30% da pressão de operação.

A determinação da quantidade de gás em escoamentos bifásicos é bastante complexa. Conforme FACCINI (2008) foram estabelecidos dois grupos de técnicas de medição de escoamentos bifásicos: técnicas de observação direta e indireta. As de observação direta incluem as de visualização, raios-X, sensores elétricos e óticos. As de observação indireta compreendem a análise de sinais provenientes de sensores de pressão estática, detetores de raios-X, detetores de nêutrons térmicos e transdutores de ultra-som.

Segundo ALVES et al, (1997), a eficiência de transferência de oxigênio de difusores e outros sistemas de transferência podem ser orientados pela metodologia ASCE (1991) – American Society of Civil Engineers. Contudo, o objetivo do chuveiro aerado é realizar a adição de ar visando o aumento da velocidade do escoamento, sendo a oxigenação não é relevante. Para este caso, FERREIRA et al, (1996) sugerem uma metodologia diferenciada, que considera as vazões e pressões do ar e da água na entrada e na saída do escoamento.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O equacionamento do problema envolve os balanços de massa e energia das correntes estudadas.

Delimitando-se um volume de controle (WYLEN et al, 2003), escreve-se a conservação de massa como

$$\frac{d\dot{m}}{dt} = \sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s \quad (1)$$

onde  $\dot{m}$  em kg/s é a vazão mássica e os índices  $e$  e  $s$  referem-se às correntes de entrada e saída do volume de controle.

A equação da conservação da energia particularizada para escoamentos em regime permanente, incompressíveis, isotérmicos e sem efeitos de dissipação viscosa é dada por (FOX e MCDONALD, 2006)

$$\left( p_1 + \rho \frac{V_1^2}{2} + g\rho z_1 \right) - \left( p_2 + \rho \frac{V_2^2}{2} + g\rho z_2 \right) = \rho h_{it} \quad (2)$$

onde  $p$  é a pressão estática em Pa,  $\rho$  é a massa específica em kg/m<sup>3</sup>,  $V$  é a velocidade média em m/s, do fluido,  $g$  é a gravidade em m/s<sup>2</sup>,  $z$  é a altura relativa em m,  $h_{it}$  é a perda de carga em m<sup>2</sup>/s<sup>2</sup>. O termo  $\rho \frac{V^2}{2}$  é referente à pressão dinâmica.

O termo  $h_{it}$  é composto por uma componente de perda de carga distribuída,  $h_f$  e outra componente que é a perda de carga localizada,  $h_{lm}$ . Chega-se que,

$$h_{it} = h_f + h_{lm} \quad (3)$$

### 3.1. PERDA DE CARGA DISTRIBUÍDA

É calculada a partir de fatores tabelados e equações empíricas. Além disso, deve-se considerar se o escoamento encontra-se em regime laminar ou turbulento. Esta determinação dá-se pelo cálculo do número de Reynolds, daqui pra frente  $Re$ ,

$$Re = \frac{\rho \cdot \bar{v} \cdot D}{\mu} \quad (4)$$

onde  $\rho$  é a densidade do fluido em  $\text{kg/m}^3$ ,  $\bar{v}$  é a velocidade média do fluido na seção de escoamento em  $\text{m/s}$ ,  $D$  é o diâmetro equivalente do tubo em  $\text{m}$ , e  $\mu$  é a viscosidade dinâmica em  $\text{N.s/m}^2$ .

Para determinar a perda de carga distribuída nos escoamentos laminares, utiliza-se a equação (5) (FOX e MCDONALD, 2006)

$$h_l = \left(\frac{64}{Re}\right) \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} \quad (5)$$

onde  $L$  é o comprimento do tubo em  $\text{m}$ .

A equação (6) é utilizada para calcular a perda de carga distribuída em escoamento turbulento

$$h_l = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2} \quad (6)$$

onde  $f$ , é o fator de atrito e pode ser determinado através do Diagrama de Moody. As equações para determinação do fator de atrito são implícitas e de difícil solução. Uma alternativa é a utilização da Equação de Blasius, que para  $4000 < Re < 1 \times 10^5$  possui uma boa aproximação. A Equação de Blasius é exposta a seguir: (FOX e MCDONALD, 2006)

$$f = \frac{0,316}{Re^{0,25}} \quad (7)$$

Substituindo o fator de atrito na equação 6, e determinando os valores de  $L$  e  $D$ , chega-se ao valor da perda de carga distribuída para um tubo de seção constante.

### 3.2. PERDA DE CARGA LOCALIZADA

É encontrada em pontos onde ocorre uma variação expressiva da geometria, dada por:

$$h_{lm} = k_0 \frac{v^2}{2} \quad (8)$$

onde  $k_0$  é adimensional e chamado de Coeficiente de Perda de Carga (FOX e MCDONALD, 2006). Os valores de coeficiente de perda de carga encontram-se tabelados na referência.

Quando uma geometria não possui perda de carga documentada, precisa ser avaliada experimentalmente. As bancadas para tais experimentos possibilitam que as variáveis de interesse, pressão estática, vazão e alturas relativas, sejam medidas, de forma que a perda de carga seja a única variável desconhecida da equação e, portanto, determinada.

## 4. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA

O ar pode ser incorporado ao escoamento através de compressores, sistema forçado, ou através de sistemas livres, que não consomem energia extra, além da disponível no escoamento de água. Portanto, assume-se como premissa para o desenvolvimento do chuveiro natural-

mente aerado (CNA) a utilização de sistema livre, promovido por uma diminuição da área transversal de passagem da água.

O diagrama a seguir expõe o mapa de pressões estáticas do escoamento do fluido de trabalho em relação à atmosférica  $p_{atm}$  ao longo da região de um tubo, próximo à descarga para o meio externo.

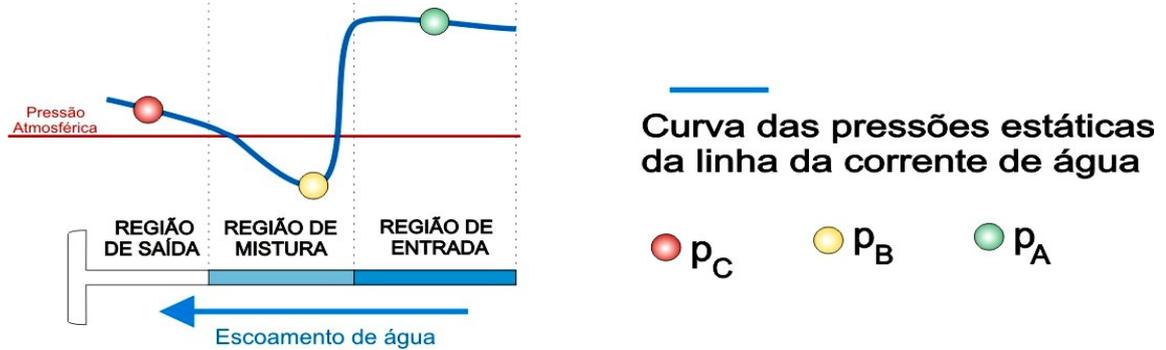


Figura 1- Mapa de pressões estáticas do fluido de trabalho ao longo do chuveiro

Percebe-se que, o chuveiro deve atender as seguintes relações das pressões estáticas:

$$p_{A, \text{água}} \text{ e } p_{C, \text{água}} > p_{atm} \quad (9.a)$$

$$p_{B, \text{água}} < p_{atm} \quad (9.b)$$

Observa-se que a condição ideal de operação consiste em fazer com que a água atinja a menor pressão possível no ponto  $B$ , sendo esta responsável por criar condições de sucção de ar.

A configuração geral do protótipo proposto, no presente trabalho, para a CNA é exposta na Figura 2:

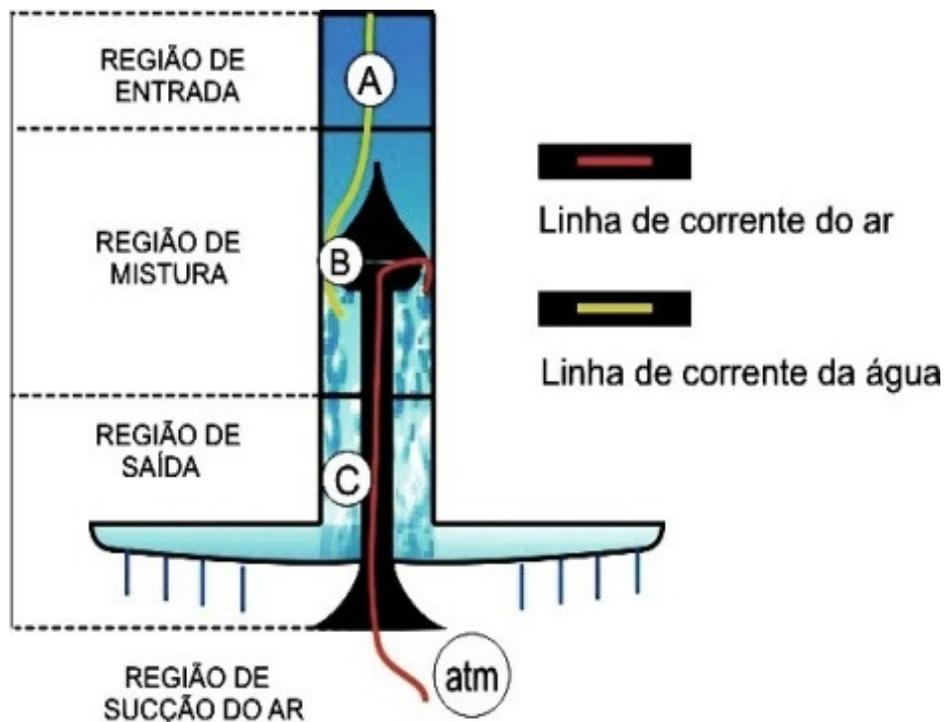


Figura 2- Configuração do protótipo de chuveiro naturalmente aerado

Há duas correntes monofásicas: a do ar, iniciando na entrada do respirador indo até a região de mistura (ponto B da Figura 2), e a corrente da água, originada na região de entrada de água (ponto A da Figura 2) e percorrendo o tubo condutor até a região de mistura. O encontro das duas correntes forma o escoamento bifásico e bi-componente, composto por água e bolhas de ar.

Para a caracterização dos escoamentos monofásicos é necessário o conhecimento da perda de carga dos componentes do chuveiro, que foram medidos experimentalmente.

Finalmente, os sistemas de aquecimento de água não serão considerados no presente trabalho, mas sabe-se que chuveiros de passagem não são adaptados à presença de ar e falham.

## 5. BANCADA EXPERIMENTAL

A seguir apresenta-se um diagrama com a bancada de testes montada especificamente para os ensaios das CNA.

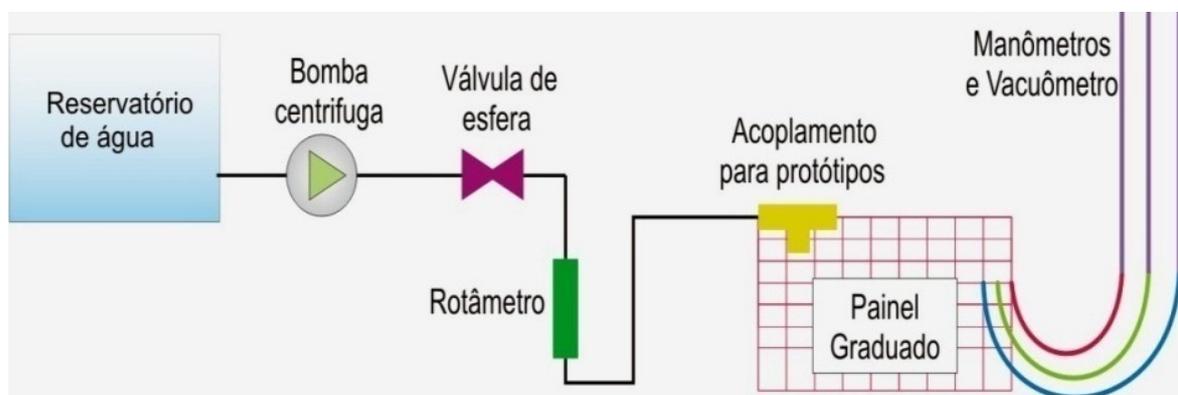


Figura 3- Diagrama da bancada experimental

Seus elementos principais são:

*Sistema de acumulação e bombeamento de água:* Formado por um reservatório de água a temperatura ambiente com regulador de nível. Na saída deste reservatório encontra-se uma bomba centrífuga.

*Controle e medição da vazão de água:* Uma válvula de esfera foi empregada, mesmo sabendo que as de gaveta seriam mais indicadas para esta função. Após a válvula, há um rotâmetro (marca Applitech modelo AP750SS) com faixa entre 1,2 a 12,6 l/min para medição da vazão de água.

*Medição de pressão de água:* Foram usados dois manômetros para os pontos A e C e o vacuômetro para o ponto B do protótipo, construídos com mangueiras, especialmente para essa medição.

*Acoplamento para protótipos:* Terminal rosqueado bitola de ½ polegada rosca fêmea.

*Painel graduado:* a bancada foi concebida considerando que o propósito do trabalho é verificar parâmetros de conforto quanto à sensação de molhado. Para viabilizar estes testes, a bancada foi equipada com um painel graduado e iluminação apropriada, que permite realizar medições através de comparação por imagem. Além disso, a bancada possui versatilidade para ensaiar protótipos na posição vertical e horizontal sem grandes modificações estruturais.

*Câmara fotográfica:* Sony modelo Cyber-shot 2.1 mega pixels, com “zoom” digital de precisão.

Figuras com imagens da bancada e dos manômetros utilizados podem ser encontradas no Apêndice A.

## 6. PROTÓTIPO

A proposta do CNA baseia-se na redução da pressão estática no ponto B (figuras 1 e 2 e Figura 4).

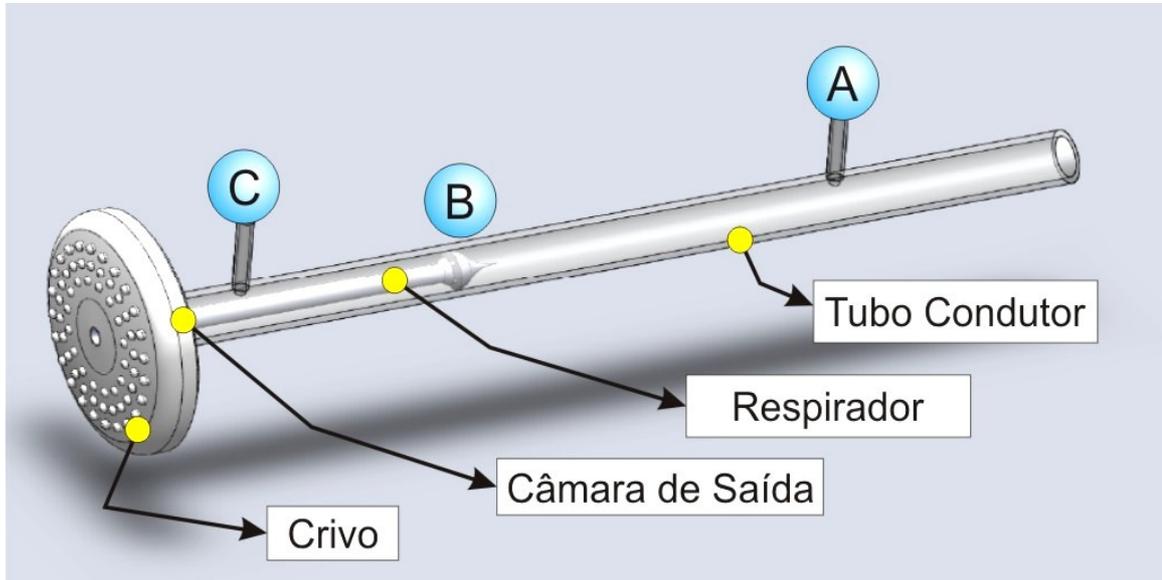


Figura 4 – Geometria do protótipo do chuveiro naturalmente aerado

O tubo condutor abriga todo o dispositivo, partindo de A até o crivo. Este último espalha a água formando a ducha de banho. Está localizado na saída do chuveiro e tem muita importância na formação da ducha.

A câmara de saída armazena a água antes de sua passagem pelo crivo.

O respirador é composto por uma ponteira, que tem a função de gerar uma zona de depressão, e uma haste, que conduz o ar desde sua sucção da atmosfera até a região de mistura com a água. De fato, este é o componente determinante para a aeração.

### 6.1. Composição do protótipo testado

A fim de estudar a interferência da câmara de saída no sistema, foram confeccionados protótipos com duas geometrias de câmara, uma em forma de campânula e outra achatada. Cada uma dessas geometrias recebeu dois tipos de tubos condutores, um em PVC e outro em vidro. Os protótipos foram montados com diferentes diâmetros dos tubos condutores e alguns foram construídos em vidro, possibilitando a visualização da formação do escoamento bifásico. A Figura 5 apresenta as duas geometrias de câmara de saída:



Figura 5- Geometrias de câmara de saída: achatada (e) e campânula (d)

Foram realizados ensaios preliminares com julgamento meramente visual dos resultados, que serviram para definir qual protótipo seria utilizado nos experimentos em bancada.

O protótipo que apresentou melhores resultados foi aquele com diâmetro interno de 16,8 mm. Quanto aos perfis de câmara de saída, não foram averiguadas diferenças consideráveis no desempenho de aeração dos protótipos.

Com base nesses resultados, foi criado um protótipo confeccionado com o tubo condutor de vidro e câmara de saída achatada. Para isso, o tubo de vidro foi furado a fim de permitir a tomada das pressões nos pontos de interesse.

O crivo é determinante na sensação de molhado proporcionada pela ducha. Porém, sua geometria impõe uma resistência que incide sobre o respirador de maneira a interferir no seu desempenho. Foram determinadas pressões para crivos com 64 furos distribuídos radialmente, com diâmetros de furos de 1,2 e 1,4 mm, a partir de agora chamados, respectivamente, de crivo<sub>1,2</sub> e crivo<sub>1,4</sub>.

Os crivos experimentados foram confeccionados com um furo passante central e um anel de vedação, facilitando a fixação e a substituição dos respiradores.

O respirador é confeccionado em PVC e é composto por uma ponteira usinada e uma haste. Foram confeccionados e testados quatro modelos de aeradores com haste transparente permitindo a visualização do seu interior. A Figura 6 mostra a geometria dos crivos e a vista explodida do modelo de respirador utilizado no protótipo.

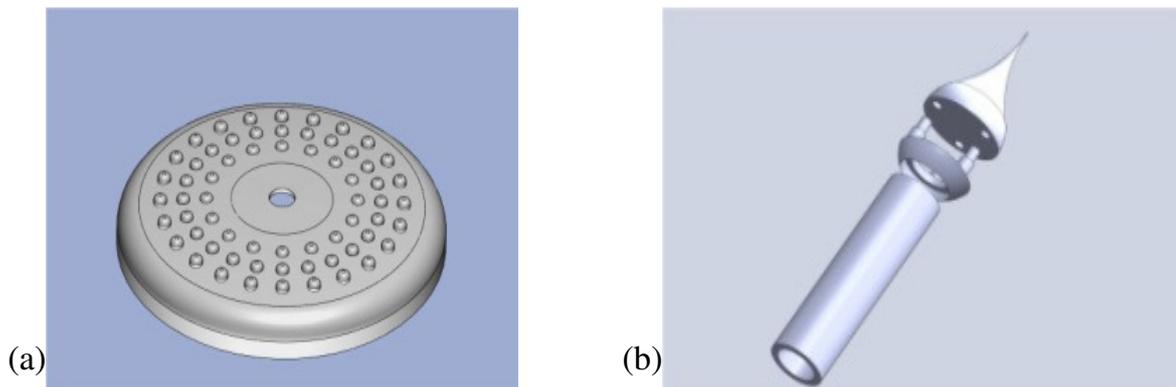


Figura 6- (a) Crivo e (b) Respirador

A haste do respirador é fixada no furo central do crivo, ficando com um pedaço sobresalente para o exterior do chuveiro, o que permite o acoplamento do vacuômetro usado para a medição da pressão no ponto B.

Outros modelos de respiradores podem ser vistos no apêndice B, assim como, imagens do protótipo em teste no Apêndice C.

## 7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 7.1. PERDA DE CARGA NO RESPIRADOR

A finalidade deste ensaio foi coletar os valores das pressões nos pontos A e C, a fim de estimar a perda de carga provocada pelo respirador,  $h_{resp}$ . Considerando a geometria do respirador, é plausível considerar que a maior perda de carga desta peça se dá na ponteira, ou seja, antes do escoamento bifásico.

Conforme SMITH SCHNEIDER (2000), para a medição da pressão em um escoamento, os pontos de coleta devem estar localizados à distância de 8 diâmetros equivalentes do tubo, isso para garantir que o escoamento esteja plenamente desenvolvido. As tomadas de pressão

foram realizadas nos pontos A e C, conforme a Figura 4. As conexões para tomada de pressão seguiram as dimensões apropriadas pela literatura a fim de evitar oscilações nos valores medidos, e os manômetros foram confeccionados com mangueiras transparentes e régua graduada.

Para a tomada de vácuo no ponto B, o vacuômetro é conectado à haste do respirador, interrompendo a passagem de ar. Logo, a pressão apontada pelo vacuômetro é gerada pelo escoamento monofásico de água, ficando disponível para nortear novos trabalhos na área. A Figura 7 mostra o detalhamento do protótipo da região do ponto B.

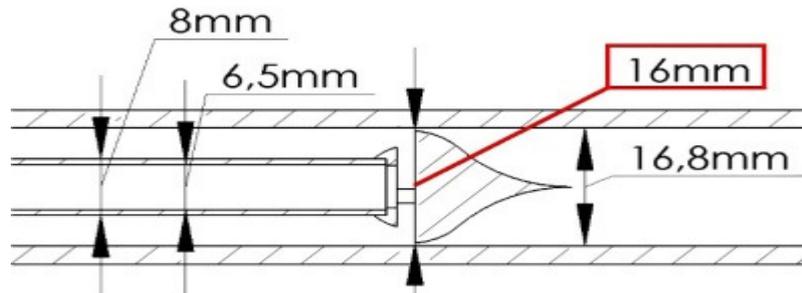


Figura 7 – Detalhamento da região do ponto B

O valor destacado na Figura 7 é o diâmetro da ponteira, que foi selecionada para a realização dos experimentos. Os valores dos diâmetros da haste e do diâmetro interno do tubo de vidro também estão na figura.

Nos testes preliminares foram analisados crivos com vários diâmetros de furos. Os resultados evidenciaram que para crivos com furos de diâmetros menores de 1 mm, a relação (9.b) não é cumprida para qualquer vazão de água. Neste experimento, foram usados os crivos  $1,2$  e o crivo  $1,4$ .

A Tabela 1 contém os valores de pressão estática medidos nos pontos A, B e C para os crivos experimentados, juntamente com os valores de pressões dinâmicas calculadas para os pontos A e C.

Tabela 1: Pressões medidas

Vazão de água [l/min]	Pressões Estáticas [Pa]						Pressões Dinâmicas [Pa]	
	Crivo furos 1,2 mm			Crivo furos 1,4 mm			Ponto A	Ponto C
	$p_A$	$p_B$	$p_C$	$p_A$	$p_B$	$p_C$		
3,0	3986	-10	686	3555	-34	564	25	610
4,0	7158	-88	990	6913	-343	834	45	915
5,0	10806	-338	1373	10512	-701	1137	71	1265
5,5	12454	-480	1549	12135	-863	1289	86	1444
6,0	14611	-637	1804	13988	-1098	1481	102	1665
6,5	16582	-794	2040	16092	-1407	1687	119	1902
7,0	18778	-976	2270	18156	-1643	1897	139	2148
7,5	21230	-1172	2608	20715	-1932	2108	159	2396
8,0	23677	-1427	2888	23132	-2177	2363	181	2690
9,0	0	-1961	3589	0	-2898	2873	229	3287
10,0	0	-2633	4423	0	-3873	3466	283	3977

A determinação das perdas de carga no foi realizada utilizando a equação (2). O chuveiro foi testado na posição horizontal, assim a diferença de altura foi desprezada. Conhecendo os diâmetros, as pressões e a vazão nos pontos A e C, é possível determinar analiticamente o valor da perda de carga. Valendo-se da suposição de que a perda de carga provocada pelo respirador é extensivamente maior na região de restrição da ponteira. Conforme observado na Figura 7.

A Figura 8 expõe o gráfico da perda de carga provocada no respirador  $h_{resp}$ .

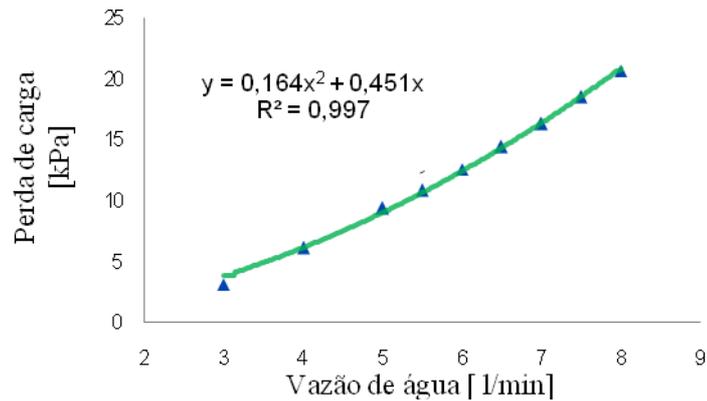


Figura 8 – Perda de carga do Respirador

Verifica-se que os valores de perda de carga provocada pelo respirador são em torno de 85% da pressão de operação. Portanto, verifica-se uma oportunidade de melhoria quanto à geometria do tubo condutor e do respirador a fim de mitigar a perda de carga.

## 7.2. AVALIAÇÃO DA AERAÇÃO POR IMAGEM

### 7.2.1 Análise do escoamento na região de mistura

Este experimento foi realizado com o objetivo de avaliar o escoamento bifásico na sua formação. Para isso, o chuveiro foi testado na posição vertical e foram feitas imagens da região de mistura. O procedimento experimental consiste em variar a vazão de água e fotografar os perfis formados para vazões específicas. Os resultados estão expostos na Figura 9.

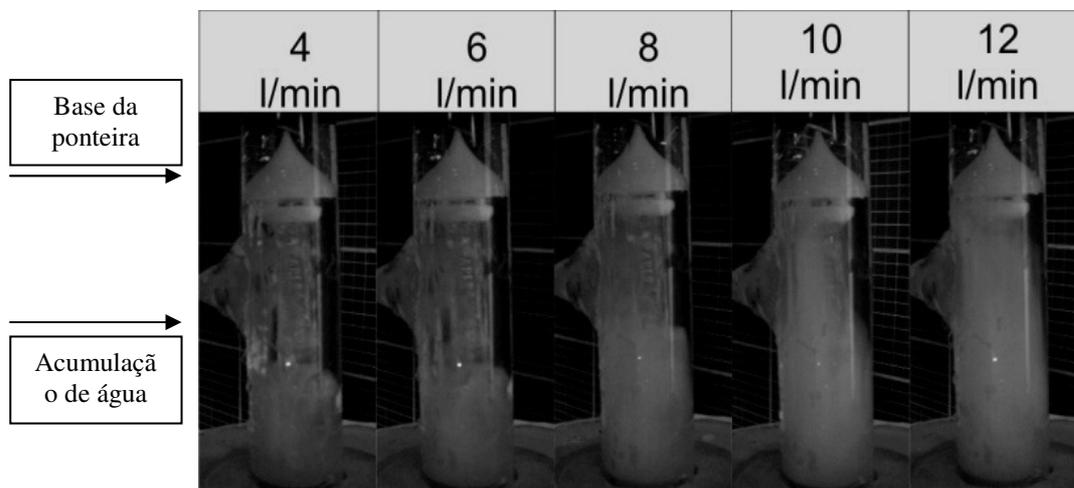


Figura 9 – Imagens dos escoamentos na região de mistura.

A região mais clara da Figura 9 corresponde à mistura entre o ar e a água. Portanto, foi verificado que a proposta de inserção do respirador trouxe resultados positivos quanto à sucção de ar.

Na Figura 9, se verifica que com vazão de 4 l/min existe uma região entre a base da ponteira e o ponto de acumulação de água, onde ocorreu um escoamento anular devido à geometria do respirador. Portanto, o diâmetro e o comprimento do respirador podem ser melhorados a fim de evitar essa ocorrência que é desnecessária.

Com vazão de 6 l/min de água formaram-se bolhas de ar mais finas e dispersas que as vistas com 4 l/min. A quantidade e o trecho onde ocorreram essas bolhas aumentaram gradativamente com o aumento da vazão. Aos 10 l/min, a ducha de água oscilou intermitentemente, verificando-se que a variação da altura da região com bolhas acompanhava esta oscilação.

### 7.2.2 Análise da ducha de água

O objetivo deste experimento é avaliar e comparar as características das duchas formadas com e sem aeração. O chuveiro é testado na posição horizontal com o crivo  $1,4$ , de maneira que a ducha forme uma parábola entre o chuveiro e o chão. Para facilitar a análise faz-se uso do painel graduado.

O experimento compreende fotografar a ducha, com e sem aeração para vários valores de vazão de água.

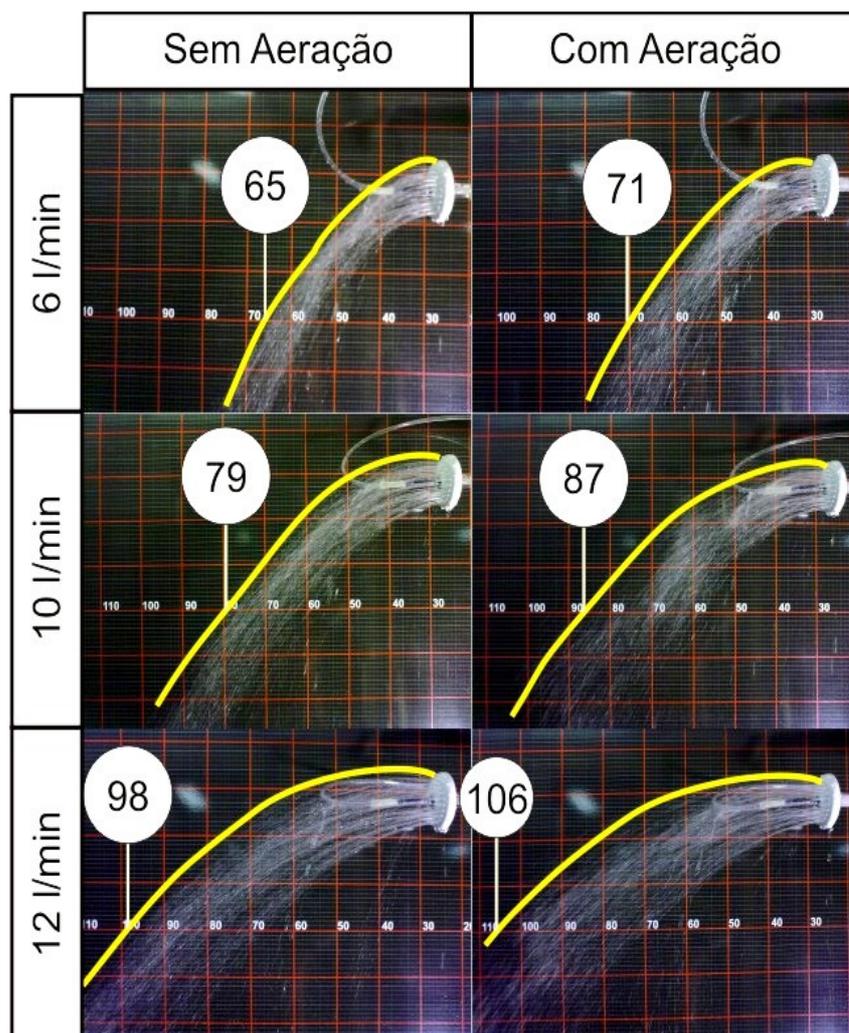


Figura 10 – Visualização da ducha com e sem aeração.

A escala está em centímetros e os valores destacados são aqueles lidos diretamente no painel, sem descontar a posição da origem da ducha, que é sempre a mesma.

A Figura 10 mostra que os jatos das duchas com aeração alcançaram maiores distâncias, ou seja, o jato aerado possuiu maior velocidade. Além disso, foi verificado que as duchas com aeração apresentaram maior espalhamento da água em todos os casos.

Percebe-se que os jatos de água da parte superior da ducha cruzam aqueles da parte inferior, após certa distância da saída do crivo. Entende-se que isso ocorre porque a distribuição de pressões no crivo não é uniforme quando o conjunto está na posição horizontal. Como consequência, os jatos inferiores não sofrem grandes alterações com a aeração, mas esses efeitos são sensíveis nos jatos superiores.

Verificou-se em observações experimentais que os jatos de água que saem do crivo sem aeração apresentam uma forma contínua até certa distância, a partir da qual evoluem para o formato de gotas. Para os CNA, as gotas são formadas desde a saída do crivo.

## 8. CONCLUSÃO

Com base nos resultados experimentais, conclui-se que a utilização do conceito de aeração em chuveiros para banho produz efeitos positivos, pois o volume aparente da ducha de banho é amplificado. Esse fato contribui para o conforto de banho, que passa a sensação para o usuário de estar recebendo maior quantidade de água, enquanto que, na realidade, ela é inalterada. Portanto pode-se dizer que ao permitir a aeração do sistema, não se está diminuindo diretamente a quantidade de água, mas transmitindo a sensação de maior conforto.

O respirador testado obteve bons resultados de sucção de ar. Com relação ao crivo, conclui-se que este influencia diretamente na sucção de ar e que a maior eficiência se dá com o que possui furos com diâmetros maiores. Portanto, idealmente, o melhor desempenho se dá quando a ducha de água é lançada para a atmosfera sem a presença do crivo. Porém, isso acarreta em mudanças significativas na sensação de molhado e, portanto, essa solução deve ser avaliada em testes de campo.

Os resultados indicam que a ducha proporciona boa aeração com fornecimento de pressões de rede em torno de 11 kPa e vazão de 5 l/min de água, o que é fundamental para que sua utilização seja viabilizada na maioria das instalações de banho.

Logo, os resultados experimentais comprovam que o chuveiro naturalmente aerado, utilizando Venturi é uma alternativa viável para sistema de banho, proporcionando uma ducha com textura semelhante ao chuveiro convencional, porém consumindo menos água e por consequência menos energia.

Como sugestão para novos trabalhos, salienta-se que o desempenho do conjunto pode ser melhorado através do estudo do respirador e do dimensionamento da geometria do crivo, que é fator determinante para a eficiência do processo de transferência de ar à água. O resfriamento da água devido à aeração também é passível de se tornar objeto de estudo para próximos trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- FOX, R. W.; MCDONALD, A. T.; PRITCHARD, P. J. **Introdução à mecânica dos fluidos**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2006, 798 p.
- WYLEN V.; GORDON, J. **Fundamentos da termodinâmica clássica**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1993. 318p.
- LINDEN, J. S. V. D.; GUIMARÃES, L. B. DE M. **O conceito de conforto a partir da opinião de especialistas in: congresso de ergonomia dos países de língua oficial portuguesa, 2004**, Funchal-Ilha da Madeira - Congresso de Ergonomia dos Países de Língua Oficial Portuguesa. Cruz Quebrada: Faculdade de Motricidade Humana, 2004.
- HAFNER, A. V. **Conservação e reuso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais**. Dissertação de Mestrado. UFRJ, 2007.
- BAYLAR, A.; OZKAN, F. **Applications of venturi principle to water aeration systems**, Environmental Fluid Mechanics (2006) 6: 341–357.
- FERREIRA, J. O. P.; FRIZZONE J.A.; BOTREL T.A. **Desempenho de um injetor de fertilizantes do tipo venturi para fins de fertirrigação**. Sci. agric. vol. 53 n. 1 Piracicaba Jan./Apr. 1996.
- FACCINI, J. L. H. **Estudo de escoamentos bifásicos estratificados usando técnicas ultrassônicas**. Instituto Alberto Luiz Coimbra De Pós-Graduação E Pesquisa De Engenharia (Coppe) da UFRJ -2008.
- ALVES, W.; URENHA L. C.; GUIMARÃES M. O.; GIUSTI P. E. A. **Avaliação laboratorial da capacidade de transferência de oxigênio de difusores de ar utilizados nos tanques de aeração da estação de tratamento de esgotos do abc na região metropolitana de são paulo**, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - IPT, 1997
- SMITH SCHNEIDER, P. **Medição de pressão em fluidos**, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA – UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL <<http://143.54.70.55/pss/medterm/index.html>>. Acesso em: 17 de Abril de 2010.
- Equipamentos Economizadores**. Disponível em: Companhia De Saneamento Básico Do Estado De São Paulo – SABESP <[www.sabesp.com.br](http://www.sabesp.com.br)>. Acesso em: 10 de Junho de 2010.
- Equipamento reduz Consumo De Água De Chuveiro Em 30 Por Cento**. 2006. Disponível em: INOVAÇÃO TECNOLÓGICA, <[http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?ar\\_tigo=010125061110](http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?ar_tigo=010125061110)>. Acesso em: 09 de Maio de 2010.
- ‘Air Shower’ Set To Cut Water Use By 30 Per Cent**. 2006. Disponível em: COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANISATION (CSIRO) <<http://www.csiro.au/news/showerhead.html>>. Acessado em: 12 de Abril de 2010.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – BANCADA

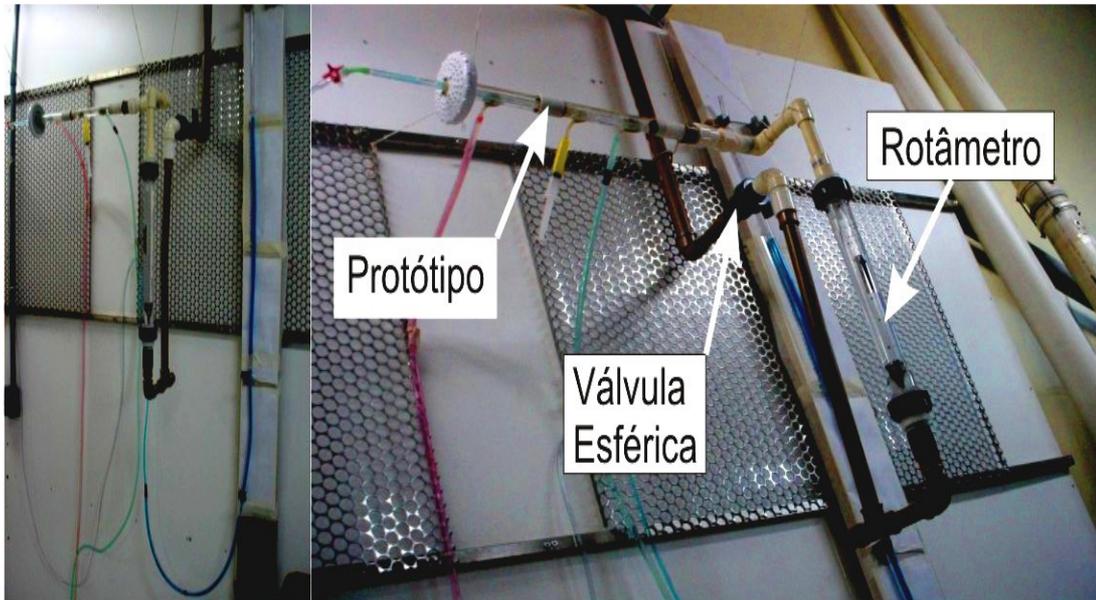


Figura A.1 – Vista geral da bancada

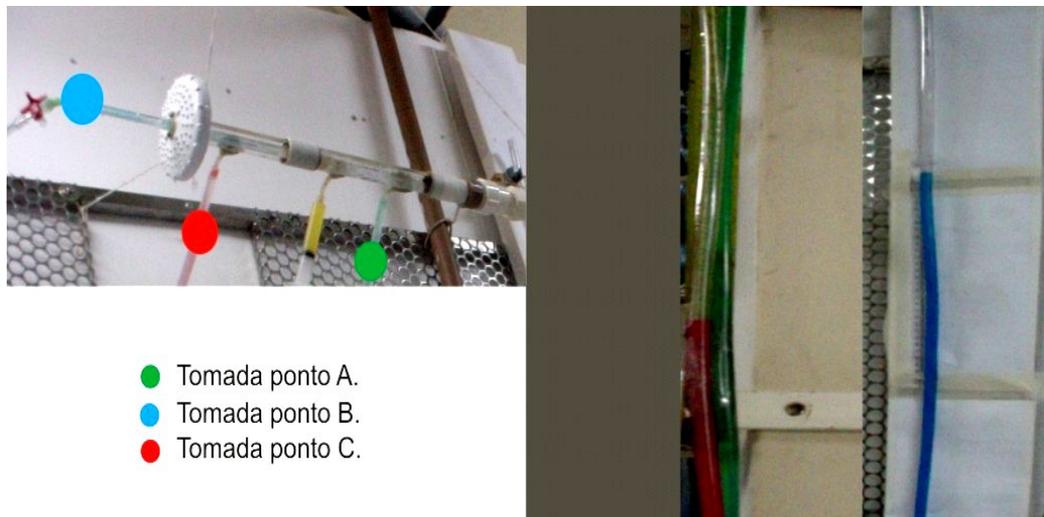


Figura A.2 – Tomadas de pressões, manômetros e vacuômetros

## APÊNDICE B – MODELOS DE RESPIRADORES

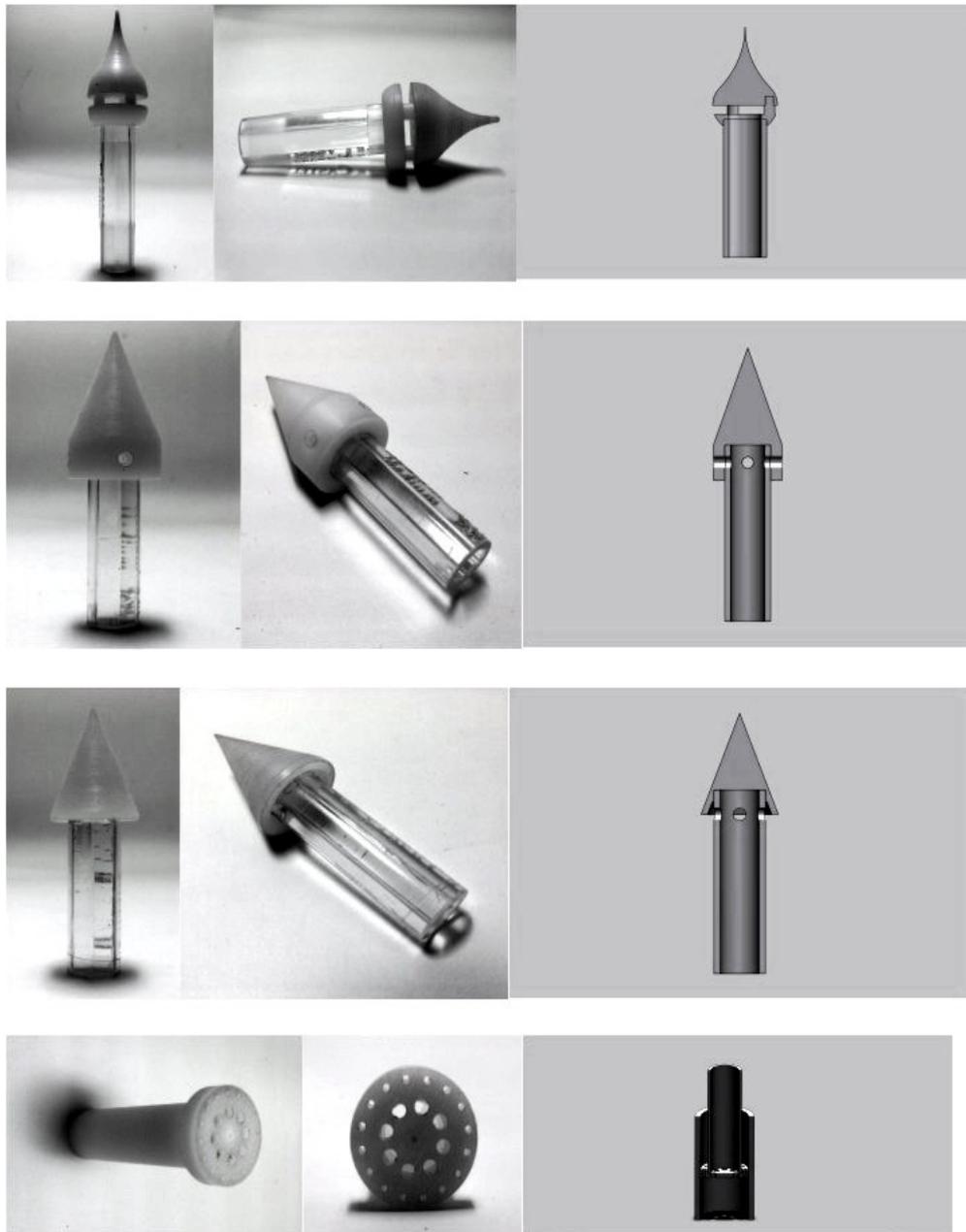


Figura B.1 – Modelos de aeradores confeccionados

## APÊNDICE C – PROTÓTIPO

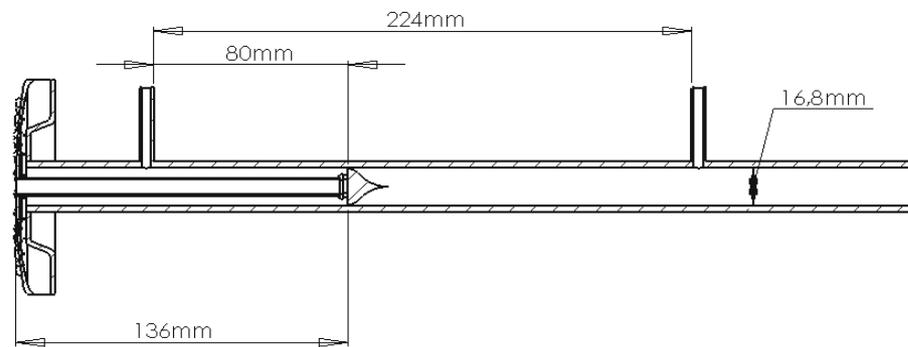


Figura D.1 – Distância dos pontos de medição



Figura D.2 – Teste vertical



Figura D.3 – Teste Horizontal